

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,  
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«30» мая 2014 г..

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**Дифракционные методы в неорганической химии**

**Уровень высшего образования:**  
Подготовка кадров высшей квалификации

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.06.01 Химические науки

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Химия твердого тела 02.00.21

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №4 от 29.05.2014)

Москва 2014

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» на основе Образовательного стандарта, самостоятельно установленного МГУ имени М.В.Ломоносова (далее – ОС МГУ), утвержденного Приказом № 552 от 23.06.2014 г. по МГУ с учетом изменений в ОС МГУ, внесенных Приказом №831 по МГУ от 31.08.2015 г..

Год (годы) приема на обучение 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018,  
2018/2019, 2019/ 2020

1. Наименование дисциплины (модуля): **Дифракционные методы в неорганической химии.**

Краткая аннотация:

В рамках данного курса предполагается 1) изучение теоретических основ метода рентгеновской дифракции - основного метода исследования структуры неорганических материалов и основных современных практических методов анализа данных порошковой рентгеновской дифракции, 2) теоретических основ, различных модификаций метода электронной микроскопии, аппаратного оформления и примеров решения типичных задач. Курс состоит из взаимосвязанных блоков рентгеновской дифракции: блока 1 «Теоретические основы рентгеновской дифракции», блока 2 «Методы порошковой рентгеновской дифракции» и блока 3 «Рентгеноструктурный анализ», и блоков раздела по электронной микроскопии: блока 4 «Растровая электронная микроскопия», блок 5 «Рентгеноспектральный микроанализ» и блока 6 «Просвечивающая электронная микроскопия».

2. Уровень высшего образования– подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки. Направленность: Химия твердого тела

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)».

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>СПК-2:</b> Способен выполнять комплексное исследование общих и функциональных свойств твердотельных материалов с использованием современных физико-химических методов; интерпретировать и анализировать результаты исследований	<b>Знать</b> современное состояние науки в области химии твердого тела <b>Знать</b> роль и возможности структурных исследований в неорганической химии <b>Уметь</b> использовать современное программное обеспечение, предназначенное для структурного анализа неорганических веществ и материалов на их основе <b>Уметь</b> использовать современное программное обеспечение, предназначенное для расчета структурных и энергетических параметров веществ и материалов <b>Уметь</b> использовать современные программы для структурного анализа, визуализации и анализа результатов структурных исследований кристаллических веществ и материалов на их основе

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:  
*Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 76 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (54 часов занятия лекционного типа, 18 часов – занятия семинарского типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 32 часа составляет самостоятельная работа учащегося.*

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.  
 В специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Неорганическая химия», «Математический анализ», «Физика», «Физическая химия», «Кристаллохимия».

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы	Самостоятельная работа обучающегося, часы

форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		из них					Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	<b>Всего</b>	из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Выполнение домашних заданий			Подготовка рефератов.п.	<b>Всего</b>	
Тема 1 Теоретические основы рентгеновской дифракции	18	12	4	-	-	-	16	2	-	<b>2</b>	
Тема 2 Методы порошковой рентгеновской дифракции	22	12	4	-	-	-	16	6	-	<b>6</b>	
Тема 3 Рентгеноструктурный анализ	17	10	3	-	-	-	13	4	-	<b>4</b>	
Тема 4 Растровая электронная микроскопия	10	6	2	-	-	-	8	2	-	<b>2</b>	
Тема 5 Рентгеноспектральный микро-анализ	8	4	2	-	-	-	<b>6</b>	2	-	<b>2</b>	
Тема 6 Просвечивающая электронная микроскопия	17	10	3	-	-	-	<b>13</b>	4	-	<b>4</b>	
Промежуточная аттестация <u>экзамен или зачет</u>	16					4	<b>4</b>			<b>12</b>	

<b>Итого</b>	<b>108</b>	54	18			4	<b>76</b>			<b>32</b>
--------------	------------	----	----	--	--	---	-----------	--	--	-----------

#### 8. Образовательные технологии:

Наряду с традиционными лекциями, для предметного ознакомления аспирантов с возможностями современного программного обеспечения проводятся лекции-демонстрации. В преподавание дисциплины используются результаты исследований, полученные сотрудниками МГУ.

#### 9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень домашних заданий. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

#### 10. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

##### **Основная литература**

1. V.K. Pecharsky, P.Y. Zavalij, Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials. Springer, 2009.
2. А. Вест. Химия твёрдого тела, т.1. М.: Мир, 1988
3. Л.М. Ковба, В.К. Трунов. Рентгенофазовый анализ. М.: МГУ, 1976.
4. Д. Брандон, У. Каплан. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004.
5. Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин, Д. Джой, Ч. Фиори, Ф. Лифшин. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. В 2 книгах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984.
6. V.D. Scott, G. Love. Quantitative electron-probe microanalysis. - Ellis Horwood Ltd., 1983.
7. D.B. Williams, C.B. Carter. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science. In 4 Books – Plenum Press: New York & London, 1996.

##### **Дополнительная литература**

8. R.A. Young (Ed.). The Rietveld method. Oxford University Press, 1993.
9. Стр. 240 из 441
10. G.E. Bacon. Neutron diffraction. Clarendon Press, 1975

11. W.I.F. David, K. Shankland, L.B. McCusker, Ch. Baerlocher (Eds.). Structure Determination from Powder Diffraction Data. Oxford University Press, 2006.
12. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968.
13. Д. Синдо, Т. Оикава. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2006.
14. А.В. Гаршев, И. Путляев Исследование материалов методами растровой электронной микроскопии. Методическая разработка к курсу дистанционного образования. Москва, 2008. курсу дистанционного образования. Москва, 2008. курсу дистанционного образования. Москва, 2008. курсу дистанционного образования. Москва, 2008.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

#### **Периодическая литература**

Журналы «Успехи химии», «Журнал неорганической химии», «Кристаллография», «Журнал структурной химии», Acta Crystallographica, Materials Chemistry, Journal Journal of Materials Chemistry, Inorganic Chemistry, European Journal of Inorganic Chemistry, Chemistry - A European Journal, Journal of Crystal Growth

#### **Интернет -ресурсы**

www.iucr.org – Международный союз кристаллографии

программное обеспечение STOE WinXPow, Jana 2006;

программный комплекс INCA Energy для проведения PCMA;

java-версия пакета для ПЭМ JEMS (P. Stadelmann, CIME, EPFL, Switzerland

[http://cimewww.epfl.ch/people/stadelmann/jemsSE/jemsSEv3\\_8326u2012.htm](http://cimewww.epfl.ch/people/stadelmann/jemsSE/jemsSEv3_8326u2012.htm))

база данных ICDD PDF-2 The CCP14 (Collaborative Computational Project No. 14) in Powder and Small Molecule Single Crystal Diffraction [www.ccp14.ac.uk](http://www.ccp14.ac.uk)

A Guide to Scanning Microscope Observation

[http://www.jeolusa.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core\\_Download&EntryId=1&PortalId=2&TabId=320](http://www.jeolusa.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=1&PortalId=2&TabId=320)

#### **Описание материально-технической базы.**

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оборудованной презентационной техникой. Лекции-демонстрации проводятся в аудитории, оснащенной компьютерами (компьютерном классе).

Вспомогательный материал в виде презентаций доступен аспирантам на сайте химического факультета <http://chem.msu.ru/>

## 12. Преподаватели:

Антипов Евгений Викторович, д.х.н., профессор, член-корр. РАН, antipov@icr.chem.msu.ru

Путляев Валерий Иванович, к.х.н., доцент, valery.putlayev@gmail.com

Розова Марина Геннадьевна, к.х.н., доцент, rozova@icr.chem.msu.ru

Гаршев Алексей Викторович, к.х.н., доцент, alexey.garshev@gmail.com

Лобанов Максим Владимирович, к.х.н., с.н.с.,

Чижов Павел Сергеевич, к.х.н., с.н.с.

### **Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения**

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.

2. Примеры контрольных вопросов:

1. Понятие о кристаллической решетке. Симметрия кристаллической решетки, основная теорема кристаллографии.

2. Когерентное упругое рассеяние – дифракция рентгеновского излучения, вывод формулы для определения комплексной амплитуды рассеянного рентгеновского излучения (РИ).

3. Основные приближения кинематической теории дифракции. Рассеяние на атоме, на цепочке электронов, цепочке атомов. Интерференционная функция Лауэ.

4. Распространение РИ в поликристаллическом образце. Средний коэффициент поглощения. Взаимосвязь между объемной долей фазы и интенсивностью рефлекса.

5. Особенности рассеяния нейтронов.

6. Понятие о субструктуре и сверхструктуре.

3. Примеры домашних заданий:

1. Самостоятельно проведите профильный анализ и качественный рентгенофазовый анализ.

2. Самостоятельно определите микроструктурные параметры из уширения дифракционных максимумов.

3. Самостоятельно проведите индицирование дифрактограммы.

4. Самостоятельно проведите уточнение кристаллической структуры неорганического соединения методом Ритвельда.

4. Полный перечень вопросов к зачёту:

1. Трансляционная симметрия как основной вид симметрии кристаллов. Понятие о кристаллической решетке. Симметрия кристаллической решетки, основная теорема кристаллографии. Решетки Браве. Закрытые и открытые элементы симметрии в кристаллах. Квазикристаллы.
2. Математическое описание операций симметрии. Федоровские группы. Симметрия физических свойств кристалла. Основные данные о кристаллической структуре.
3. Рентгеновское излучение (РИ) как электромагнитное излучение. Типы источников РИ. Взаимодействие РИ с веществом. Томсоновское рассеяние, комптоновское рассеяние, фотоэффект.  
Стр. 242 из 441
4. Линейный коэффициент поглощения. Зависимость коэффициента поглощения от длины волны – край полосы поглощения. Уравнения Гамильтона-Дарвина. Когерентное упругое рассеяние – дифракция РИ, вывод формулы для определения комплексной амплитуды рассеянного РИ.
5. Основные приближения кинематической теории дифракции. Рассеяние на атоме, на цепочке электронов, цепочке атомов. Интерференционная функция Лауэ.
6. Трансляционная симметрия кристалла, переход к рядам Фурье. Обратная решетка. Закон Брэгга в векторной и скалярной формах. Сфера Эвальда. Форм-факторы атомов, параметры атомного смещения, заселенность. Структурная амплитуда. Аномальное рассеяние.
7. Параметры, влияющие на интенсивность рефлекса при дифракции на реальных объектах. Поляризационный фактор, влияние монохроматоров.
8. Порошковая дифрактограмма как 1D проекция 3D дифракционной картины, рассмотрение дифракции на поликристаллической пробе с помощью построения Эвальда. Лоренц-фактор, геометрический фактор. Понятие о текстуре образца, текстурный фактор. Коэффициент экстинкции. Фактор повторяемости рефлексов.
9. Три вклада в уширение дифракционных пиков. Инструментальное уширение, коррекция. Уширение, обусловленное малым размером ОКР. Формула Шерера, её ограничения. Уширение, обусловленное микронапряжениями. Разделение вкладов, метод Вильямсона-Холла.
10. Текстура как преимущественная ориентация кристаллитов в образце. Феноменологическое описание текстуры, эллиптическая текстура. Модель Марча-Долласа. Правила выбора оси текстурирования. Фундаментальное рассмотрение проблемы, понятие о функции распределения ориентировок (ODF). Полюсные фигуры, решение обратной задачи.
11. Особенности рассеяния нейтронов. Магнитное рассеяние нейтронов. Случаи ферромагнитного и антиферромагнитного упорядочения.
12. Природа аналитического сигнала в электронном микроскопе, электронный спектр, типология рассеянных электронов. Основные виды контраста (топографический, химический – Z-контраст, кристаллографический и др).

13. Природа и характеристики рентгеновского излучения в электронном микроскопе. Энергодисперсионная спектроскопия (EDX) и спектроскопия с волновой дисперсией (WDX).

14. Электронная дифракция: дифракция с селекторной диафрагмой SAED (локальность, точность), микролучевая (MBD) и нанолучевая (NBD) дифракция, дифракция в сходящемся пучке – CBED (возможности), неупругое рассеяние электронов и формирование линий Кикучи.

15. Понятие о передаточной функции микроскопа. Типы аберрации и возможности их коррекции. Периодичность контраста как функция дефокуса. Оптимальный дефокус (фокус Шерцера и фокус Гаусса).

Примеры ПКЗ.

Задание 1.

Определите кристаллическую структуру заданного вещества.

Задание 2.

Определите параметры микроструктуры вещества из уширений дифракционных максимумов.

Задание 3.

Определите фазовый состав (качественный и количественный) смеси кристаллических веществ.

Задание 4. Проиндицируйте точечную электронограмму известного кристаллического вещества, определите ось зоны.

Задание 5. Для известного кристаллического вещества и известного направления электронного пучка постройте картину электронной дифракции в заданном масштабе (длина волны, длина камеры).

### **Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проводится по билетам; билет включает 2 вопроса и ПКЗ. В случае, если ПКЗ было успешно выполнено и на все вопросы были даны удовлетворительные ответы, аспирант получает зачет. Ведомость приема зачета подписывается членами комиссии.

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое

	умений	систематическое умение	отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач